

## ОТЗЫВ

официального оппонента, главного научного сотрудника ФИАН, д.ф.-м.н, Богачева Сергея Александровича на диссертационную работу Шарыкина Ивана Николаевича "Исследование энерговыделения солнечных вспышек по многоволновым пространственно-разрешенным наблюдениям", представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.03 – физика Солнца

Работа И.Н. Шарыкина "Исследование энерговыделения солнечных вспышек по многоволновым пространственно-разрешенным наблюдениям", представленная на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.03 – «физика Солнца», представляет собой подробное экспериментальное исследование явления солнечных вспышек с точки зрения их энергетического баланса и механизмов формирования наблюдаемых в них эмиссионных структур.

С наблюдательной точки зрения вспышки представляют собой одно из наиболее интересных солнечных событий, следы которого регистрируются практически во всем диапазоне спектра, от гамма до радиоизлучения. Вопрос об источнике энергии и триггерах солнечных вспышек пока окончательно не решен, в том числе из-за отсутствия достаточного количества экспериментальных данных.

В диссертационной работе проведено весьма подробное исследование нескольких вспышечных событий, с привлечением большого объема экспериментального материала, а также с использованием разнообразных методов анализа экспериментальных данных. Аккуратное исследование именно конкретных вспышечных событий является, основной особенностью работы. Это позволило максимально подробно описать в диссертации эволюцию каждого из отобранных событий, а также сделать выводы об особенностях наблюдавшегося вспышечного энерговыделения, что составляет один из главных результатов работы.

С точки зрения содержания диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, трех приложений и списка цитируемой литературы из 121 наименования. Общий объем диссертации – 134 страницы.

Во введении к диссертации И.Н.Шарыкиным сформулированы задачи и цели работы, ее актуальность, новизна и научная значимость, проведен обзор литературы.

В первой главе И.Н.Шарыкиным исследуется вспышка от 9 августа 2011 года класса X6.9, для которой ранее по отношению интенсивностей излучения в каналах GOES было предположено наличие сверхгорячей плазмы с температурой более 30 млн. К. Для исследования данного

события автором были дополнительно привлечены данные спутника RHESSI, а также данные приборов AIA и EVE (оба на спутнике SDO). По анализу рентгеновского спектра в двухтемпературном приближении была определена температура сверхгорячей плазмы – 45 млн. К. Предложена интерпретация данного события, согласно которой во вспышке существовало две области высокой температуры: горячая и расположенная выше сверхгорячая область, формирующаяся в результате первичного энерговыделения и являющаяся источником ускоренных электронов и тепловых потоков. При анализе тепловых потоков был сделан вывод о неприменимости для данного события классической столкновительной теплопроводности.

Во второй главе проведено аналогичное исследование для вспышки низкого рентгеновского класса, C1.4 по шкале GOES, произошедшей 12 августа 2002 года. В дополнение к данным GOES и RHESSI, для анализа были привлечены также изображения с телескопа EIT на борту спутника SOHO и микроволновые изображения NORH. Измерена температура сверхгорячей компоненты. Проведено сравнение параметров степенного спектра ускоренных во вспышке электронов с характеристиками сверхгорячей плазмы. Показано, что эти величины показывают согласованную динамику, откуда сделан вывод, что популяция ускоренных во вспышке электронов была сформирована из тепловых электронов сверхгорячей плазмы.

В третьей главе рассматривается вопрос о механизме формирования тонкой структуры вспышечных эмиссионных лент в событии от 15 августа 2013 года (уровень C2.1 по шкале GOES). Оптическое излучение вспышки исследовалось по данным телескопа NST/BBSO. Автор делает вывод, что излучение в линии H $\alpha$  в лентах появилось существенно ранее, чем заметные потоки жесткого рентгеновского излучения, что свидетельствует, что нагрев плазмы в лентах происходил без участия высокоэнергичных ускоренных частиц. В качестве альтернативного объяснения в работе предлагается механизм нагрева плазмы за счет диссипации электрических токов, текущих через поверхность Солнца. Расчет плотности тока производился по векторным магнитограммам прибора HMI на спутнике SDO. Показано, что области эмиссии в целом коррелируют с распределением плотности тока.

В четвертой, последней, главе диссертационной работы И.Н. Шарыкиным исследуется вспышка от 17 февраля 2013 года, в которой наблюдалось гелиосейсмическое возмущение с установленным «эпицентром». Показано, что данное возмущение не удастся объяснить механизмом генерации возмущения пучком ускоренных во вспышке электронов. Автором высказывается и обосновывается предположение, что гелиосейсмическое возмущение было вызвано диссипацией электрического тока.

Работа выполнена на хорошем научном уровне, имеет практическую и теоретическую значимость. Конкретные результаты исследования представляют интерес для фундаментальной физики Солнца и могут быть использованы для решения прикладных задач по анализу и интерпретации

событий солнечной активности.

Научная новизна диссертационной работы И.Н.Шарыкина заключается в наиболее детальной на текущий момент экспериментальной проработке ряда вопросов, касающихся энергетического баланса вспышек, а также механизмов образования эмиссионных вспышечных структур. Все результаты, выносимые на защиту, получены соискателем в ходе оригинальных исследований.

В целом, диссертационная работа И.Н.Шарыкина представляет собой законченное исследование в области физики Солнца, удовлетворяющее требованиям актуальности и новизны, обладающее научной значимостью, а также имеющее возможности для последующих применений. И.Н.Шарыкин внес основной личный вклад в разработку и реализацию методов исследования, а также в оформление и интерпретацию полученных данных. Выносимые на защиту результаты достоверны и в достаточной степени обоснованы. Особо отмечу, что диссертант показал высокий уровень владения техникой современного эксперимента, методами обработки и анализа данных.

Результаты диссертации опубликованы в 8 рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК (дополнительно одна статья принята к печати), а также были не раз представлены в трудах российских и международных конференций и электронных публикациях. Перечень результатов, выдвигаемых на защиту, соответствует основному тексту диссертации. Все результаты в полном объеме представлены в рецензируемых журналах, то есть прошли научную экспертизу.

К диссертационной работе имеется ряд замечаний и вопросов:

1. В главе 2 из факта согласованной динамики параметров сверхгорячей плазмы и параметров степенного спектра ускоренных электронов делается вывод, что популяция ускоренных электронов была сформирована из популяции тепловых электронов сверхгорячей плазмы. Возможно альтернативное объяснение такой корреляции, а именно, что нагрев сверхгорячей плазмы и ускорение электронов производятся одновременно из одного общего внешнего «резервуара энергии», поэтому и показывают согласованную динамику. Рассматривалась ли автором такая возможность и почему она была отклонена?
2. В главах 3 и 4 автор противопоставляет механизм нагрева плазмы потоками ускоренных электронов и механизм нагрева плазмы за счет диссипации токов. Мой вопрос состоит в том, можно ли тем методом, который использует автор (анализ векторных магнитограмм) отличить один механизм от другого? Интуитивно кажется, что ускоренные упорядоченные потоки электронов при прохождении через поверхность Солнца будут вызывать точно такую же циркуляцию окружающего магнитного поля, что и текущие через поверхность токи.
3. Техническое замечание состоит в том, что обзор литературы во введении является очень кратким (3 страницы) и, в целом, выполнен довольно формально. Частично это компенсируется, впрочем,

довольно большим числом ссылок в основном тексте диссертации. Вместе с тем диссертация лучше бы воспринималась, если бы автор оформил обзор литературы как выделенную часть работы, а не распределил бы ссылки по тексту.

Указанные замечания не влияют на мою общую оценку работы.

Учитывая вышесказанное, по моему мнению, диссертационная работа И.Н.Шарыкина "Исследование энерговыделения солнечных вспышек по многоволновым пространственно-разрешенным наблюдениям", представленная на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.03 – «физика Солнца», отвечает всем требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, а автор, И.Н.Шарыкин, заслуживает присвоения степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.03 – «физика Солнца».

Официальный оппонент,  
главный научный сотрудник ФИАН,  
д.ф.-м.н.



С.А. Богачев

« 6 » ноября 2015 г.

ФИАН, 119991 ГСП-1 Москва, Ленинский проспект, д.53, тел. +7 499 132-65-97, e-mail: [bogachev@lebedev.ru](mailto:bogachev@lebedev.ru)

Подпись С.А.Богачева заверяю:

И.о. ученого секретаря ФИАН,  
к.ф.-м.н



М.М.Цвентух

« 06 » ноября 2015 г.

ФИАН, 119991 ГСП-1 Москва, Ленинский проспект, д.53, тел. +7(499) 132-68-46, e-mail: [elley@list.ru](mailto:elley@list.ru)